

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.02.022

微网控制系统架构及控制方式研究

翟笃庆, 李常, 吕学山, 曾一, 韩春晖
(中国能建集团装备有限公司 南京技术中心, 南京 210015)

摘要: 针对微网的稳定和优化控制需求, 提出了主要由能量管理系统、中央控制器和底层设备组成的系统解决方案。介绍了微网处于不同方式时, 包括分布式电源和负荷在内的底层设备的控制原理和方式, 以及控制系统所应采取的不同控制策略。

关键词: 微网; 能量管理系统; 中央控制器

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)02-0113-05

Research on Structure and Method of Microgrid Control System

ZHAI Duqing, LI Chang, LÜ Xueshan, ZENG Yi, HAN Chunhui

(Nanjing Technology Center of China Energy Equipment Co., Ltd., Nanjing 210015, China)

Abstract: Aimed at requirements of stable and optimal control in microgrid, this paper proposes a system solution, composed of energy management system(EMS), microgrid central control(MGCC) and underlying equipments. Control principle and realizing method of distributed generations(DG) and loads are introduced, when microgrid runs in different modes. Control strategies used by system are also presented.

Key words: microgrid; EMS; MGCC

随着经济社会的快速发展和大气污染的日趋严重, 我国面临的能源形势已经十分紧张, 风、光等分布式发电近年来得到了迅速发展。大规模的分布式电源并网会给电力系统的稳定性带来影响^[1-2]。微网是一种接纳分布式电源的友好形式, 相比直接并网方式, 分布式电源通过微网接入电网, 不仅可以实现能源的就地消纳, 避免长距离输电的高投资、高线损, 还能实现孤网时的自治运行, 从而提高电力可靠性和供电质量^[3-5]。

微网既可以通过配电网与大型电力网并联运行, 形成一个大型电网与小型电网的联合运行系统, 也可以独立地为当地负荷提供电力需求。这样的灵活运行模式大大提高了负荷侧的供电可靠性。同时, 微网通过单点接入电网, 可以减少大量小功

率分布式电源接入电网后对传统电网的影响。另外, 微网将分散的不同类型的小型发电源(分布式电源)组合起来供电, 能够使小型电源获得更高的利用效率。这些功能的实现都离不开控制系统的支持。微网控制系统需掌握实时运行数据, 针对某一控制目标做出决策, 并控制各设备按设定方式运行。本文描述了一种可行的微网控制系统总体解决方案, 围绕方案中的实现环节, 介绍了底层设备, 包括分布式电源和负荷在微网中的控制方式, 以及微网在不同运行方式下采用的上层控制策略。

1 微网控制系统总体方案

微网控制系统需要通过对全网运行状态的监视和对电源、负荷单元的控制, 使系统稳定、经济运行。按照各设备在系统中的功能划分, 控制系统可分为三层结构: 优化控制与监测、协调控制与保护、就地监控与保护, 如图1所示。

1) 本地控制与保护主要完成微网各单元的保护与控制。其中, 测控终端与各分布式电源控制器作

收稿日期: 2016-02-08

作者简介: 翟笃庆(1985), 男, 安徽芜湖人, 工程师, 硕士, 主要从事分布式电源和微网控制保护技术研究的工作(e-mail)287379075@qq.com。

很大, 因此微网控制系统一般不向风机设定功率期望, 而是由风机控制器的内部控制算法根据风速等环境情况给出。

1.1.3 储能变流器并网控制方式

储能变流器(PCS, 下同)在并网运行时一般采用恒功率(PQ控制, 下同)模式, 期望功率是人工设定或由控制装置下发的, 该期望值受PCS的额定容量和电池端口电压的限制。PCS的最大充放电功率由PCS的额定容量决定。

1.2 微网离网控制方式

微网在离网运行时, 储能PCS采用恒压恒频(Vf控制, 下同)控制模式, 可作为主电源来维持系统电压和频率的稳定。此外, 柴发作为就地的小型同步发电机, 也可在离网时作为主电源。光伏和风机的离网控制方式与并网运行时相同, 需要注意的是, 风机启动时的冲击电流较大, 在PCS作主电源的情况下系统稳定性较差, 因此应尽量避免风机的启动给系统带来的冲击。

微网在离网运行时, 需要对负荷和重要性进行分级, 在频率或电压出现异常且主电源已达功率极限时(或储能剩余容量过低时), 切除次要负荷, 以保证对重要负荷的不间断供电。

制, 其它从电源都采用PQ控制。储能PCS作从电源时采用的控制方式与1.1.3节相同。

1.2.2 柴发离网控制方式

柴发是一台小型的同步发电机, 在微电网并网运行时, 柴发一般不工作。微电网离网运行时, 柴发可作为主电源维持系统的电压频率稳定。柴发控制器配置一个控制模块, 包括自动电压调节器和转速调节器2个子模块, 前者通过调节发电机励磁电流来维持端口电压的稳定, 后者根据负荷大小调节给油量来维持柴油机转速稳定。

此外, 有些厂家的柴油发电机还可工作在恒功率模式, 控制系统可通过柴发控制器调节柴发的输出功率。

1.2.3 负荷离网控制方式

微网在离网运行时, 系统主电源惯性小, 稳定性差, 遇有较大的负荷波动或分布式电源出力波动会导致系统频率电压出现异常, 需要采取紧急控制措施。为了尽量避免不必要的负荷切除, 在遇到频率过低的情况时, 应先增大分布式电源出力, 如果分布式电源出力已达上限, 系统频率仍然过低, 此时可按负荷优先级的顺序, 依次切除次要负荷, 以保障对重要负荷的不间断供电。

2 微网控制策略

微网在并网和离网两种运行方式下要采取不同的控制策略。在并网方式下, 微网可通过对并网点交换功率的控制, 使微网成为可控的电源或负荷, 减少分布式发电功率波动对大电力系统造成的冲击, 还可执行一些优化控制, 达到尽量分布式发电的最大利用, 经济收益最大化, 环保效应最佳等控制目标。

在离网方式下, 微网控制系统更注重系统的稳定运行, 以及出现意外情况时的应对措施。在此前提下, 还应达到尽量利用分布式发电, 延长设备使用寿命和保障重要负荷供电等控制目标。

2.1 微网并网控制策略

2.1.1 联络线功率控制

联络线功率控制从控制目标来看, 可分为两种:

1) 联络线定功率控制。使联络线功率稳定在一个设定值附近, 该设定值可以从计划曲线读取, 也可以人工设定。

表1 微网两种运行方式下各底层设备的控制方式

Table 1 Control Methods of Bottom Devices when Microgrid Run in Different Ways

微网运行方式	并网	离网
光伏	期望功率可在最大发电功率内设定	期望功率可在最大发电功率内设定
风机	期望功率一般不可设定	期望功率不可设, 只能停, 不能启
储能	有功和无功功率期望由外部设定	作主电源时, 期望功率不可设; 作从电源时, 期望功率可由外部设定
柴发	不运行	与储能相同
负荷	不操作	紧急情况下需切除

1.2.1 储能变流器离网控制方式

微网离网运行时, 作为主电源的储能变流器采用Vf模式, 为交流母线提供恒定的电压和频率参考。采用离网Vf控制时, 储能PCS需要维持系统功率平衡, 其输出功率大小不可外部设定, 而是由负载的大小和其它分布式电源的功率缺额决定。

采用主从控制架构的微网处于离网运行时, 一般只有一台储能PCS(或柴发)作主电源采用Vf控

2) 联络线功率平滑控制。可以减缓分布式电源的功率突变, 使联络线功率平滑, 削弱对电网造成的冲击。

进行联络线定功率控制时, 控制系统需要读取联络线的实时功率和储能的充放电功率, 根据计算联络线实时功率与设定参考值的差值, 对储能充放电功率进行修正。参考值可以由运行人员或上级调度设定, 也可由存储的计划曲线读取。

进行联络线功率平滑控制时, 控制系统需要实时监视分布式发电和负荷的功率波动。考虑到发电和负荷功率波动都会造成联络线功率的突变, 因此滤波对象应是分布式电源和负荷功率的代数和, 即净负荷。

2.1.2 削峰填谷

一般来说, 随着分布式发电和负荷功率的峰谷变化, 微网并网点的交换功率(即净负荷)在一天中会按时段形成高峰和低谷。微网能量管理系统可以根据发电和负荷预测结果, 对电池进行充放电管理, 可以改变原有的负荷曲线, 实现一些优化目标(比如负荷分布方差最小, 考虑阶梯电价的收益最大等)。

负荷的方差可以反映负荷曲线的平坦程度。可以选取负荷曲线的方差最小化作为目标函数, 并考虑两个约束条件:(1)所有时刻的电池剩余容量都不能超过电池总容量的上下限约束;(2)功率约束。由于储能 PCS 的元件限制, 电池在各时刻的输出功率不能超过上下限, 否则会损坏电力电子设备。

由于目标函数的非线性性质, 可采用采用序列二次规划方法^[9]求解此类优化问题。

2.1.3 经济运行

在经济运行模式下, 微网能量管理系统需考虑微网运行的可靠性与经济性, 目标是寻求最优的联络线功率, 通过调节各分布式电源出力, 使运行成本及损失最小化, 达到运行效益的最优。

由于微网是典型的小系统, 发电和负荷预测的难度比大系统大得多, 精度也受到多方面条件制约, 因此算法还应考虑预测误差分布的不确定性。对于此类不确定性优化问题, 不但含有多个不同概率分布的随机变量, 而且各个变量之间有非线性的约束限制, 用传统的优化算法难以描述, 而采用蒙特卡洛模拟则可很好地解决。结合蒙特卡洛模拟的

粒子群算法^[10]可解决含有随机变量的复杂非线性优化问题, 在电力系统可靠性和经济性分析等问题中得到了应用。

2.2 微网离网控制策略

2.2.1 稳定控制

微网在离网运行时, 储能 PCS 或柴油发电机作主电源维持系统频率和电压稳定, 前提是负荷和分布式电源功率波动在可调节范围内。比如一台 30 kW 的 PCS, 采用 Vf 控制模式正常运行时放电 20 kW, 只能应对 10 kW 以内的功率突增, 即热备用容量只有 10 kW。为了提高系统运行的稳定性和可靠性, 需要在保证系统正常运行的前提下采取控制措施, 使主电源工作在合适的工作范围内, 留有足够的热备用容量应对正常的功率波动。

如果遇到某些突发的大功率波动, 比如某台大功率光伏逆变器停机等, 超出了主电源的调节能力, 系统会产生过频或低频现象, 由于电源惯性小, 系统会迅速失去稳定, 因此必须采取紧急控制措施。此时就不能考虑分布式发电最大化、设备寿命等次要因素, 而应以恢复系统稳定为唯一目标, 并采取快速应对措施。低频时要按优先级顺序切除次要负荷, 高频时要切除分布式电源。

2.2.2 黑启动

对于没有传统旋转电源的微网系统, 风机、光伏等分布式电源不具备自动建立系统电压功能, 因此无法自主进行黑启动。此时需要储能 PCS 在从全黑状态启动, 使交流母线带电。储能 PCS 具有响应快、容量大、调节速度快、能提供较大的初始启动功率等优点, 适合承担黑启动的任务。

通常的黑启动顺序为:

1) 确保系统与公共电网断开连接, 确保所有电源支路和负荷支路断开。

2) 启动系统中储能 PCS, 建立交流母线电压。

3) 合上光伏支路开关, 光伏逆变器检测到交流母线电压正常后自动投入发电(风机谨慎投入, 因为并网冲击大)。

4) 根据最大发电功率和当前负荷的缺额情况, 按优先级顺序逐级投入系统内负荷。

2.3 微网并离网切换控制策略

微网的运行方式切换分为主动式和被动式两种。主动式切换是指运行或调度人员根据系统运行需要, 向控制器下发模式切换的控制指令来触发的

运行方式切换。模式控制器(或中央控制器)在接收指令后,进行一系列遥控操作,控制微电网由并网运行转为离网运行。

主动式切换过程中由于可以预知并网开关跳开的时间,可以先将PCS转为下垂控制。由于处于下垂控制模式的PCS既可以工作在并网状态,也可以工作在离网状态,因此可以在开关跳开前后完成平稳过渡,系统不存在任何停电现象。

由于PCS离网带载能力有限,在跳开并网开关进入离网运行之前需保证当前微网负荷在PCS带载能力之内,否则应切除部分次要负荷。

此外,在微网外部发生故障时,配电网DTU会跳开故障点上级开关,微网进入孤岛状态,系统母线频率和电压会出现异常,模式控制器(或中央控制器)应迅速启动被动式切换逻辑。由于失去了稳定的参考频率和电压,PCS无法先转为下垂模式,必须先转为待机再Vf启动。由于存在PCS状态切换的时间和Vf模式下PCS建立电压的爬坡时间,因此存在短时停电的现象,称为有缝切换。

在外部电网恢复正常后,运行或调度人员可向模式控制器(或中央控制器)下发并网指令,自动完成恢复并网所需的一系列遥控指令。由于处于下垂控制的PCS输出频率是可调节的,因此可先把离网运行的PCS转为下垂控制,并设置与外电网的频率差,由控制器检测并网开关两侧的电压,完成同期合闸。

3 结论

本文提出了一种包含三层结构的微网控制系统的解决方案,介绍了分布式电源和负荷这些底层设备在微网处于不同运行方式下的控制原理和实现方法,以及微网在并网、离网以及切换过程中的控制策略。

随着装置计算处理能力的大大加强,通信效率和可靠性的提高,以计算机和通信技术为基础的智能电网技术已经得到了广泛应用。微网作为智能电网的重要组成部分,可以借鉴许多成熟的智能电网技术。本文所介绍的微网控制系统具备高速通信和计算功能,可以实现微网在各种方式下的自动化运行,并能与所处的配电网进行交互,符合主动配电网的发展方向,具有良好的推广和应用前景。

参考文献:

- [1] 梁才浩,段献忠.分布式发电及其对电力系统的影响[J].电力系统自动化,2001,25(12):53-56.
LIANG Caihao, DUAN Xianzhong. Distributed Generation and Its Impact on Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(12): 53-56.
- [2] 庄慧敏,巨辉.高渗透率逆变型分布式发电对电力系统暂态稳定和电压稳定的影响[J].电力系统保护与控制,2014,42(17):84-89.
ZHUANG Huimin, JU Hui. Impacts of Inverter Interfaced Distributed Generations with High Penetration Level on Power System Transient and Voltage Stability [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(17): 84-89.
- [3] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述[J].电力系统自动化,2007,31(19):100-105.
LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Overview on Microgrid Research [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-105.
- [4] 丁明,张颖媛,茆美琴.微网研究中的关键技术[J].电网技术,2009,33(11):6-11.
DING Ming, ZHANG Yingyuan, MAO Meiqin. Key Technologies for Microgrids Being Researched [J]. Power System Technology, 2009, 33(11): 6-11.
- [5] 郑漳华,艾芊.微电网的研究现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2008,32(16):27-31.
ZHENG Zhanghua, AI Qian. Present Situation of Research on Microgrid and Its Application Prospects in China [J]. Power System Technology, 32(16): 27-31.
- [6] 梁国坚,段新辉,高新华.数字化变电站过程层组网方案[J].电力自动化设备,2011,31(2):94-98.
LIANG Guojian, DUAN Xinhui, GAO Xinhua. Networking Schemes for Process Level of Digital Substation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2): 94-98.
- [7] 崔岩,蔡炳煌,李大勇,等.太阳能光伏系统MPPT控制算法的对比研究[J].太阳能学报,2006,27(6):535-538.
CUI Yan, CAI Binghuang, LI Dayong, et al. Comparative Studies on the MPPT Control Algorithms of Solar Energy Photovoltaic System [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2006, 27(6): 535-538.
- [8] 王志新,张华强.风力发电技术与功率控制策略研究[J].自动化仪表,2008,29(11):1-6.
- [9] 陈满,陆志刚,刘怡,等.电池储能系统恒功率削峰填谷优化策略的研究[J].电网技术,2012,36(9):232-237.
- [10] 周永智,吴浩,李怡宁,等.基于MCS-PSO算法的邻近海岛多微网动态调度[J].电力系统自动化,2014,38(9):204-210.